



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 652 419 A1**

12

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: **93118200.0**

51 Int. Cl.<sup>6</sup>: **G01D 3/02, G01D 5/244**

22 Anmeldetag: **09.11.93**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**10.05.95 Patentblatt 95/19**

71 Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**  
**Wittelsbacherplatz 2**  
**D-80333 München (DE)**

84 Benannte Vertragsstaaten:  
**AT DE FR GB IT**

72 Erfinder: **Donat, Albrecht, Dipl.-Ing.**  
**Westring 20**  
**D-91462 Dachsbach (DE)**  
Erfinder: **Schweigert, Ralf, Dipl.-Ing.**  
**Prälat-Michel-Strasse 5**  
**D-91325 Adelsdorf (DE)**

54 Verfahren zur Korrektur des Phasenfehlers bei der Auswertung von Inkrementalgebern mit sinusförmigen Ausgangssignalen.

57 Aus zwei von einem Geber generierten weg- bzw. winkelabhängigen Signalen (Sinus- und Cosinusspur), die eine Phasenverschiebung abweichend von der idealen Phasenverschiebung von  $90^\circ$  aufweisen, wird mit einer Interpolationselektronik (1) ein Winkel ( $\phi_1$ ) berechnet, der in einer Phasenkorrekturstufe (2,3) korrigiert wird. In dieser Phasenkorrekturstufe (2,3) wird über einen Tabellenzugriff, ein Fehlerfaktor erzeugt, der mit einem Phasenfehlerwinkel multipliziert wird, so daß man einen Korrekturwinkel ( $\Delta\phi$ ) erhält, der nur noch zu dem interpolierten Winkel ( $\phi_1$ ) addiert werden muß, um den korrigierten Winkel  $\phi$  zu erhalten.

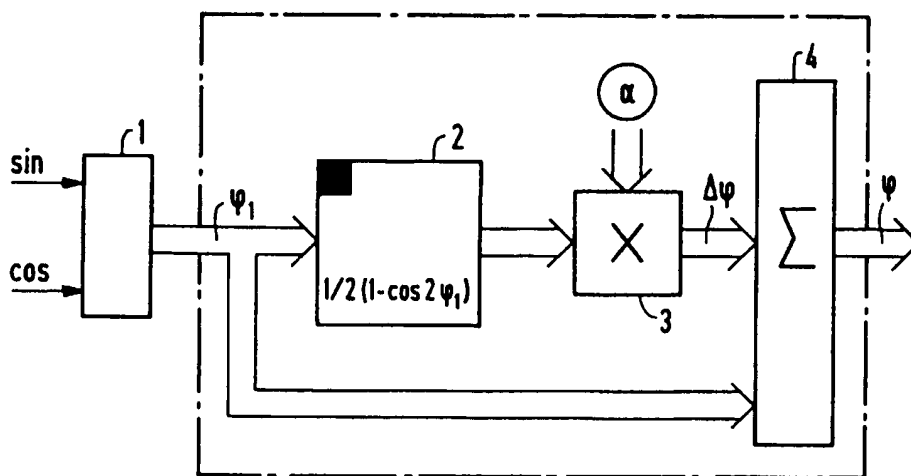


FIG 4

EP 0 652 419 A1

# EP 0 652 419 A1

Die Erfindung bezieht sich auf ein verfahren zur Korrektur des Lagefehlers bei einem Gebersystem, das zwei um 90° phasenverschobene weg- bzw. winkelabhängige sinusförmige Signale gleicher Amplitude und Periode liefert, wobei aus diesen zwei Signalen über eine Interpolationselektronik ein Winkel berechnet wird.

Zur Erfassung von Rotationsbewegungen von Werkzeugmaschinen oder von Maschinenteilen werden optische sowie magnetische Sinus-Cosinusgeber benutzt, deren Signale interpoliert werden, damit man die Lageerfassung des Werkzeugs bzw. der Maschine erfaßt. Es sind schon verschiedene Vorrichtungen zur Interpolation der Lage solcher Sinus-Cosinus-Geber bekannt. Sie beziehen sich auf zwei verschiedene Verfahren. Beim meistbenutzten handelt es sich um die Bildung der Arcustangens-Funktion der Signalspuren. Ein weiteres Verfahren, das sogenannte "HMS"-Verfahren, ist in der EP-0 390 936 beschrieben. Bei diesem wird ein vom Weg bzw. Winkel linear abhängiges digitalisierbares Folgesignal gebildet.

Alle Verfahren setzen jedoch voraus, daß die Signale, welche die Lageinformation enthalten (Sinus- und Cosinusspur), eine Phasenverschiebung von exakt 90° aufweisen. Aufgrund der Toleranzen bei der Geberherstellung und Geberjustage weisen die informationstragenden Spuren jedoch eine Phasenverschiebung auf, die von der idealen Phasenlage von 90° etwas abweicht. Bei den obengenannten Verfahren ist eine gewisse Empfindlichkeit gegenüber Fehlern dieser Art gegeben, denn aufgrund des Phasenfehlers der beiden Signale entsteht durch die Interpolation ein Lagefehler, der im Lageregelkreis eine Fehlage vortäuscht bzw. dem Drehzahlregler eine Lagewelligkeit und damit auch eine Drehzahlwelligkeit vorgibt.

Da in modernen Steuerungen und Antrieben die Lage- und Drehzahlregelung digital ausgeführt ist, wäre es bei Kenntnis des Phasenfehlers möglich, die Lageinformation für den Lage- und Drehzahlregler zu korrigieren. Die immer genauer werdende Lageerfassung bei Werkzeugmaschinen macht diese Korrektur notwendig.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein solches Verfahren zur Korrektur des Phasenfehlers bei der Auswertung von Inkrementalgebern mit sinusförmigen Ausgangssignalen zu schaffen.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe bei einem Verfahren der eingangs genannten Art durch die Maßnahmen des kennzeichnenden Teils des Hauptanspruchs gelöst. Es wird ferner bei einer vorteilhaften Ausbildung der Erfindung ein Verfahren beschrieben, bei dem über einen Tabellenzugriff des Prozessors, der die Lage- bzw. Drehzahlregelung ausführt, der Lagefehler korrigiert werden kann. Dabei kann die Korrektur dadurch erreicht werden, daß dem aus der Interpolationselektronik kommende, noch fehlerbehafteten Winkel durch Zugriff auf eine entsprechende Tabelle ein winkelabhängiger Anteil der Fehlerfunktion zugeschlagen wird, wobei die Tabellenwerte mit dem Phasenfehlerwinkel, d.h. einer geberspezifischen Größe, multipliziert werden.

Bei diesem Verfahren ist der Phasenfehlerwinkel eine geberspezifische Größe, die - wenn sie einmal ermittelt ist - als Parameter hinterlegt sein kann. Es wäre jedoch durchaus denkbar, diesen geberspezifischen Parameter in einem Auslaufversuch zu ermitteln und von Zeit zu Zeit zu aktualisieren. Dieser Prozeß könnte sogar automatisiert werden, was dazu führen würde, daß sogar Temperatureinflüsse auf diesen Fehler kompensiert werden könnten.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher erläutert. Dabei zeigen:

- FIG 1 eine Darstellung von idealen und phasenverschobenen Zeigern,
- FIG 2 die numerisch berechneten Verläufe der Fehlerfunktion für zwei verschiedene Phasenfehlerwinkel,
- FIG 3 Spektralanteile für verschiedene phasenfehler und
- FIG 4 ein Blockschaltbild zur Phasenkorrektur.

Es werden zuerst die mathematischen Zusammenhänge zwischen Phasenfehler und Lagefehler gezeigt. Der Lagefehler aufgrund Phasenverschiebung läßt sich in der komplexen Zahlenebene relativ einfach ermitteln, wenn man die Cosinusspur dem Realteil und die Sinusspur dem Imaginärteil zuordnet.

Ein idealer Geber soll eine Position anzeigen, die dem Weg bzw. Winkel genau entspricht. In diesem Fall werden die Signalspuren Sinus und Cosinus einen Winkel  $\phi$  codieren, der durch den Zeiger  $\underline{Z}$  beschrieben ist.

$$\underline{Z} = \cos \phi + j \sin \phi \quad (1)$$

Ein Geber mit einer phasenverschiebungsabweichung mit dem Wert  $\alpha$  führt auf einen resultierenden Zeiger folgender Größe:

$$\underline{Z}_1 = \cos (\phi + \alpha) + j \sin \phi \quad (2)$$

Es sei hier darauf hingewiesen, daß bei diesem Beispiel die Phasenverschiebung komplett der Cosinusspur

# EP 0 652 419 A1

zugeschlagen wird.

Diese Darstellung der beiden Zeiger  $\underline{Z}$  und  $\underline{Z}_1$  in der komplexen Zahlenebene zeigt die Darstellung gemäß FIG 1. Der Zeiger  $\underline{Z}_1$  codiert über den Arcustangens bzw. andere Auswerteverfahren den Winkel  $\phi_1$ . Der Differenzzeiger  $\underline{Z} - \underline{Z}_1$  ergibt sich zu

$$\underline{Z} - \underline{Z}_1 = \cos \phi - \cos (\phi + \alpha) \text{ (rein reel)} \quad (3)$$

mit der Länge

$$l = |\underline{Z} - \underline{Z}_1| = \cos \phi - \cos (\phi + \alpha) \quad (4)$$

Über den Winkel  $\phi_1$  der sich sowohl als Phasenwinkel des Zeigers  $\underline{Z}_1$  als auch als Differenzwinkel des Zeigers  $\underline{Z} - \underline{Z}_1$  und des Zeigers  $\underline{Z}_1$  wiederfindet, kann die Dreieckshöhe  $h$  berechnet werden. Es gilt

$$h = l \sin \phi_1 \quad (5)$$

Da die Länge des Zeigers  $\underline{Z}$  den Wert 1 hat, läßt sich aus der Dreieckshöhe  $h$  eine Beziehung für den Korrekturwinkel  $\Delta\phi$  erstellen

$$h = \sin \Delta\phi \quad (6)$$

Aus den Gleichungen (5) und (6) läßt sich die Beziehung ableiten

$$\sin \Delta\phi = l \sin \phi_1 \quad (7)$$

Mit der Beziehung  $\phi = \phi_1 + \Delta\phi$  und den Gleichungen (4) und (7) folgt:

$$\sin \Delta\phi = \sin \phi_1 [\cos(\phi_1 + \Delta\phi) - \cos(\phi_1 + \Delta\phi + \alpha)] = \sin \phi_1 [\cos \phi_1 \cos \Delta\phi - \sin \phi_1 \sin \Delta\phi - \cos(\phi_1 + \alpha) \cos \Delta\phi + \sin(\phi_1 + \alpha) \sin \Delta\phi] \quad (8)$$

oder umgestellt

$$\sin \Delta\phi \cdot [1 + \sin^2 \phi_1 - \sin \phi_1 \cdot \sin(\phi_1 + \alpha)] = \cos \Delta\phi \cdot [\sin \phi_1 \cos \phi_1 - \sin \phi_1 \cos(\phi_1 + \alpha)]$$

$$\tan \Delta\phi = \frac{\sin \phi_1 \cos \phi_1 - \sin \phi_1 \cos(\phi_1 + \alpha)}{1 + \sin^2 \phi_1 - \sin \phi_1 \cdot \sin(\phi_1 + \alpha)} \quad (9)$$

Der Ausdruck im Nenner  $\sin^2 \phi_1 - \sin \phi_1 (\sin \phi_1 + \alpha)$  ist für kleine Werte von  $\alpha$  gegenüber dem Wert 1 zu vernachlässigen.

Somit bleibt:

$$\begin{aligned} \tan \Delta\phi &= \sin \phi_1 \cos \phi_1 - \sin \phi_1 \cos(\phi_1 + \alpha) \\ &= \sin \phi_1 \cos \phi_1 - \sin \phi_1 \cos \phi_1 \cos \alpha + \sin^2 \phi_1 \cdot \sin \alpha \end{aligned} \quad (10)$$

In dieser Darstellung kann für kleine Werte von  $\alpha$  die Differenz  $\sin \phi_1 \cos \phi_1 - \sin \phi_1 \cos \phi_1 \cos \alpha$  gegenüber dem Ausdruck  $\sin^2 \phi_1 \sin \alpha$  vernachlässigt werden. Damit bleibt:

$$\begin{aligned} \tan \Delta\phi &= \sin^2 \phi_1 \sin \alpha \\ &= \frac{1}{2} \sin \alpha (1 - \cos 2\phi_1) \end{aligned} \quad (11)$$

# EP 0 652 419 A1

Da die Werte für den Phasenfehler  $\alpha$  und somit auch für den Lagefehler  $\Delta\phi$  klein sind, gilt in der 1. Näherung mit

$$\begin{aligned} \tan \Delta\phi &\approx \Delta\phi \text{ und} \\ \sin\alpha &\approx \alpha \\ \Delta\phi &= \alpha \cdot \frac{1}{2} (1 - \cos 2\phi_1) \end{aligned} \quad (12)$$

Die Darstellung gemäß FIG 2 zeigt beispielhaft den numerisch berechneten Verlauf der Fehlerfunktion

$$\Delta\phi = \arctan \frac{\sin \phi_1}{\cos(\phi_1 + \alpha)} - \phi_1 \quad (13)$$

für die beiden Winkel  $5^\circ$  und  $10^\circ$ .

An den Verläufen der Fehlerfunktion läßt sich erkennen, daß die berechnete Näherung (12) Gültigkeit hat.

Eine weitere Bestätigung für die Gültigkeit der Näherung zeigt die Darstellung gemäß FIG 3, bei welcher die Spektralanteile für verschiedene Phasenfehler  $\alpha$  graphisch dargestellt sind. Diese Darstellung zeigt, daß die Spektrallinien der zweiten Oberwelle dominant sind ( $\cos 2\phi_1$ ), und daß eine Korrektur der zweiten Oberwelle im Lagewinkel den Lagefehler um den Faktor 20 minimiert.

In der Darstellung gemäß FIG 4 wird gezeigt, wie die schaltungsgemäße Korrektur mit Hilfe eines Phasenkorrekturgliedes (gestrichelt angedeutet) in der Steuerung oder im Antrieb erfolgen kann. Aus der Interpolationselektronik 1 wird zunächst ein Wert  $\phi_1$  für den Winkel berechnet. Da die informationstragenden Spuren (Sinus und Cosinus) eine Phasenverschiebung abweichend von der idealen Phasenlage von  $90^\circ$  aufweisen, ist dieser Wert fehlerbehaftet und wird deshalb einem tabellarischen Speicher S zugeführt, in dem der  $\phi_1$ -abhängige Anteil der Fehlerfunktion abgelegt ist; und zwar nach der Beziehung:

$$f_{\text{Tab}}(\phi_1) = \frac{1}{2} (1 - \cos 2\phi_1)$$

Diese stellt den zweiten Faktor der Gleichung (12) dar.

Der Ausgangswert der Tabelle wird weiter einem Multiplizierer 3 zugeführt und mit dem Phasenfehlerwinkel multipliziert. Der Phasenfehlerwinkel  $\alpha$  ist eine geberspezifische Größe, die als Parameter hinterlegt sein kann. Nach der Multiplikation der Fehlerfunktion  $\frac{1}{2} (1 - \cos 2\phi_1)$  mit dem Phasenfehlerwinkel  $\alpha$  erhält man den Korrekturwinkel  $\Delta\phi$ , wie er der Gleichung (12) zugrunde liegt, der im Summierer 4 zu dem interpolierten Winkel  $\phi_1$  addiert wird. Der Ausgang dieses Summierers 4 liefert den gewünschten korrigierten Winkel  $\phi$  an der Übersichtlichkeit halber nicht gezeigte weitere Auswerteeinrichtungen.

Der Phasenfehlerwinkel  $\alpha$  kann als geberzugehörige Größe einmalig ermittelt werden und als geberspezifischer Parameter festgehalten werden. Es ist aber auch denkbar, die Ermittlung des Geberphasenfehlers in einem Auslaufversuch zu automatisieren. Der automatisch ermittelte Geberphasenfehler kann dann in einer niederprioren Zeitscheibe aktualisiert werden. Durch eine automatische Aktualisierung des Phasenfehlers können sogar Temperatureinflüsse auf diesen Fehler kompensiert werden.

## Patentansprüche

- Verfahren zum Bestimmen der Lage eines Objekts mit Hilfe eines Gebersystems, das aus zwei sinusförmigen, etwa um  $90^\circ$  zueinander versetzten Gebersignalen ein linearisiertes Lagewinkelsignal  $\phi_1$  generiert, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei Kenntnis eines Phasenfehlerwinkels  $\alpha$  in einem Umsetzer (2,3) ein Korrekturwinkelsignal  $\Delta\phi$  nach der Beziehung

$$\Delta\phi = \arctan \frac{\sin \phi_1}{\cos(\phi_1 + \alpha)} - \phi_1$$

# EP 0 652 419 A1

bestimmt wird, das zum Lagewinkelsignal  $\phi_1$  additiv hinzugefügt wird und wobei das solchermaßen erzeugte Signal als korrigiertes Lagewinkelsignal  $\phi$  den weiteren Verarbeitungseinrichtungen zugeführt wird.

- 5 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß, die Beziehung vereinfacht ist als

$$\Delta\phi = \frac{1}{2} (1 - \cos 2\phi_1) \cdot \alpha$$

- 10 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Phasenfehlerwinkel  $\alpha$  als geberzugehörige Größe einmalig ermittelt wird und dann als geberspezifischer Parameter festgehalten wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Phasenfehlerwinkel  $\alpha$  auf Wunsch aktualisierbar ist.

- 15 5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Phasenfehlerwinkel  $\alpha$  jeweils in einem Auslaufversuch ermittelt wird.

- 20 6. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, 2, 3, 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Umsetzer (2,3) ein Rechenwerk vorgesehen ist.

7. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, 2, 3, 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Umsetzer ein Speicher (2) für eine Tabelle vorgesehen ist, in welcher für vorgegebene Lagefehlerwinkel  $\phi_1$  zugehörige Korrekturwerte vorgegeben sind, die nach Wichtung mit dem Phasenfehler  $\alpha$  das Korrekturwinkelsignal  $\Delta\phi$  angeben.

30

35

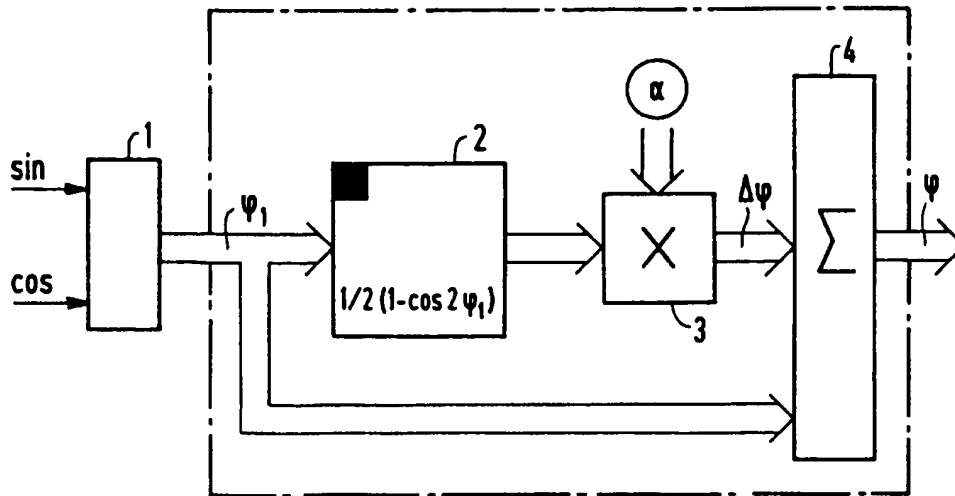
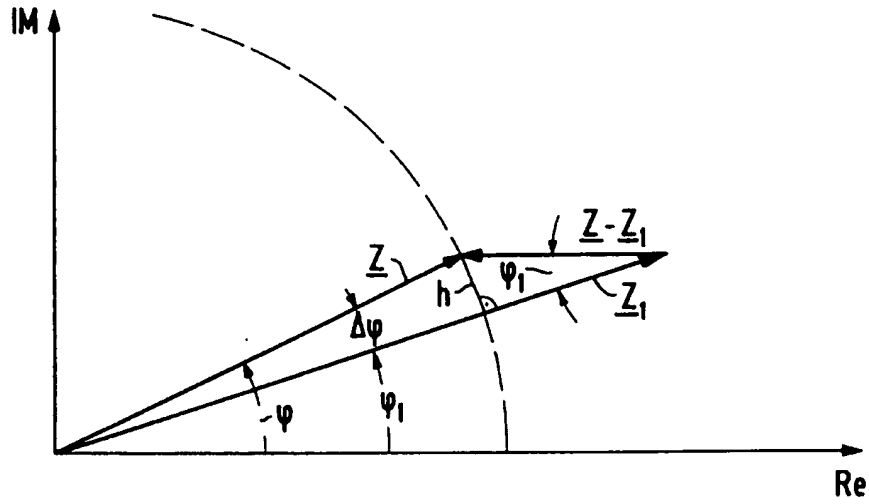
40

45

50

55

EP 0 652 419 A1



EP 0 652 419 A1

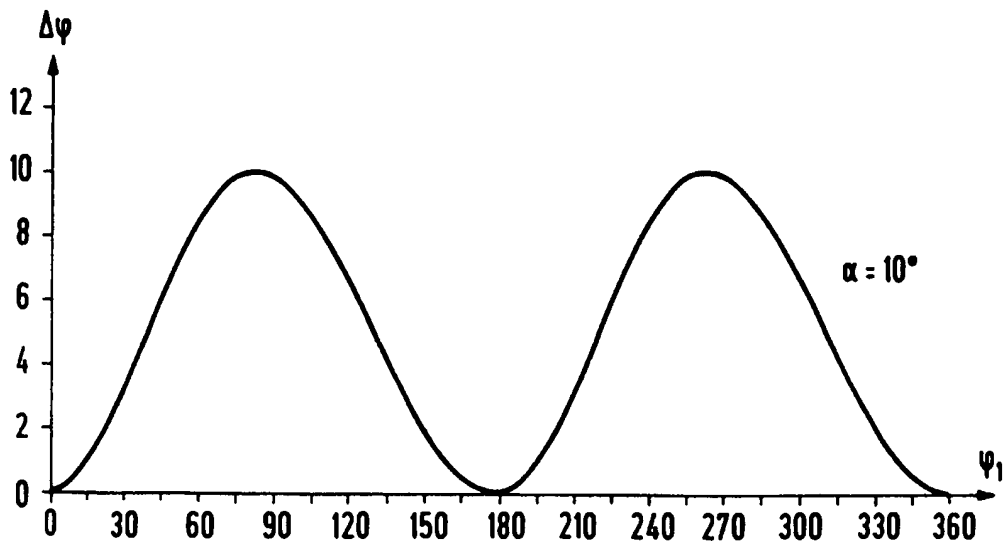
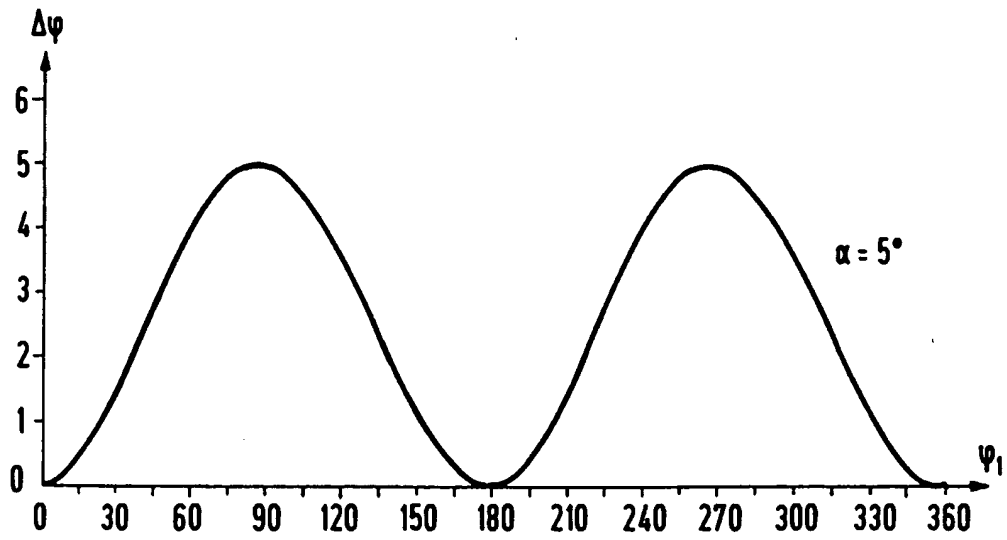


FIG 2

EP 0 652 419 A1

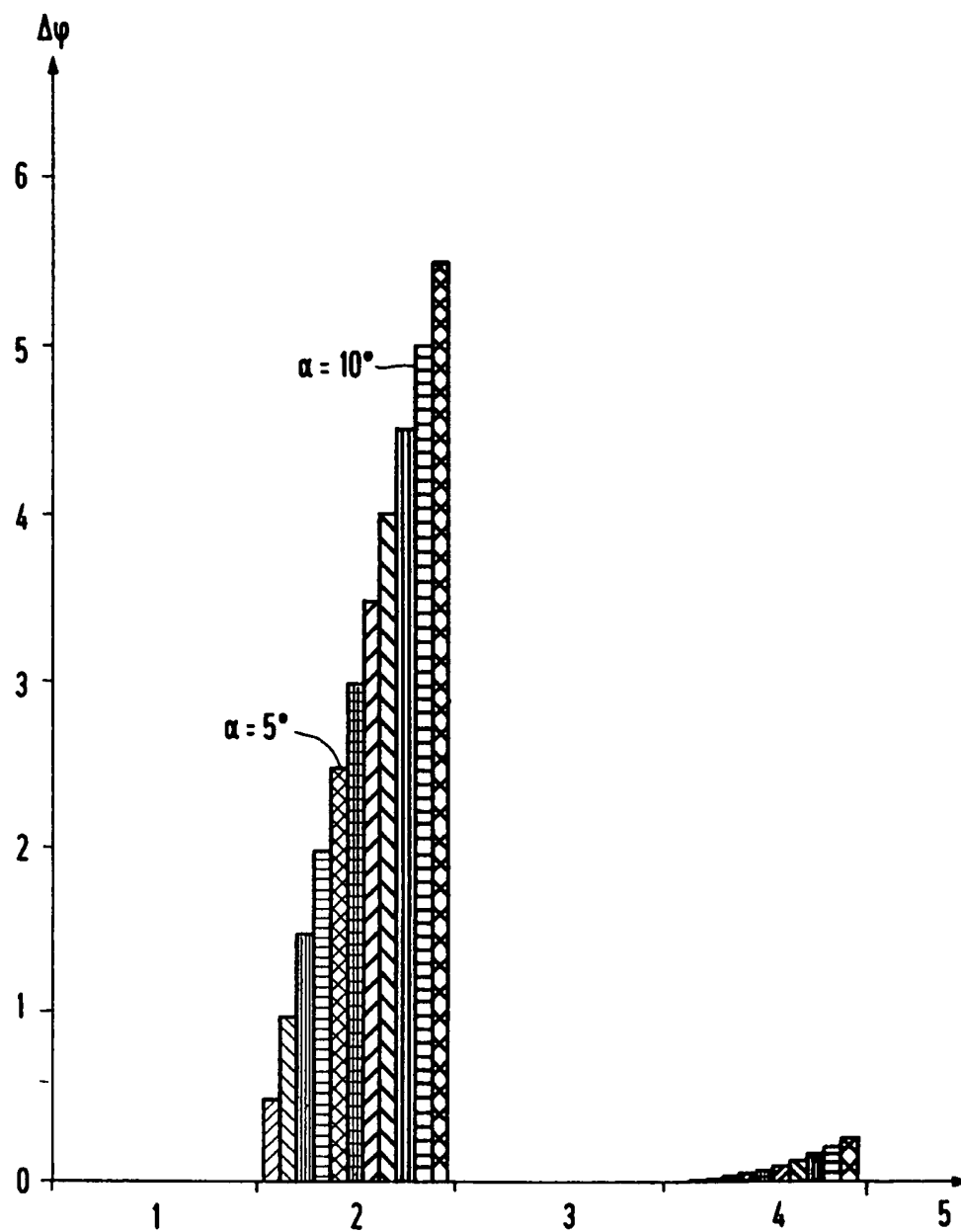


FIG 3





Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 93 11 8200

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
A	US-A-5 202 842 (SUZUKI) * Spalte 1, Zeile 29 - Zeile 49 * * Spalte 2, Zeile 66 - Spalte 3, Zeile 12 * * Abbildung 2A *	1	G01D3/02 G01D5/244
A	EP-A-0 048 851 (DR. JOHANNES HAIDENHAIN GMBH) * Seite 5, Zeile 17 - Seite 7, Zeile 6 *	1,6,7	
A	GB-A-2 047 412 (JEAN-PIERRE IBAR) * Anspruch 7; Abbildung 1 *	2	
A	EP-A-0 085 148 (DR. JOHANNES HAIDENHAIN GMBH) * Seite 7, Zeile 13 - Zeile 17 *	3-5,7	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			G01D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 29. März 1994	Prüfer Lut, K
<p><b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b></p> <p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur</p> <p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument</p> <p>* : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>			

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**